

氷圧力を考慮した構造物設計 (小川原湖総合観測所設計)

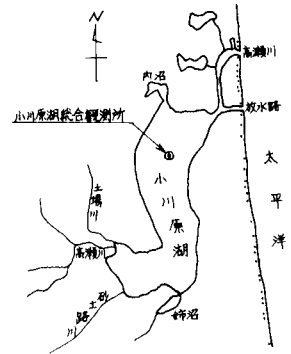
東北地 建 高瀬川総合開発工事事務所

○大嶋武志
正会員 深見親雄

1 はじめに

小川原湖は、青森県の東南部に位置し、高瀬川河口附近にある湖(湖面積63.2km², 平均水深11m, 最大水深25m)で、現在湖周辺の治水並びに利水需要に対処するため総合開発事業を実施している。このうち、利水事業では、現在汽水湖である小川原湖を河口堰の建設によって淡水化し、新たにかんがい用水、都市用水を供給するものであるが、当面の課題である湖の淡水化過程の把握と将来の水質管理、特に湖の富栄養化等の監視及びデータ収集並びに気象、水文の連続観測を目的とした総合的な観測所を設置するものである。その設置位置は、図-1に示す湖の中心部で水深約17mの地点である。小川原湖は、毎年1月～2月にかけて湖面が全面結氷する。その厚さは30cm～60cmに達し、湖岸施設等に多くの被害を与えることが予想される。全面結氷した氷盤は、主に融氷期の風により湖内を移動する。(厳寒期においても氷盤は湖岸に密着しておらず、動くことが予想される。)このため湖心に設置する総合観測所においては、北海道のオホーツク海沿岸の構造物と同様に設計において氷による外力条件を考慮しなければならない。

図-1 位置図



本報告は、外力条件設定にあたって実施した小川原湖の水状況調査等をもとに支配荷重となる氷圧力を考慮して設計した小川原湖の湖心の総合観測所設計についての概要をとりまとめたものである。

2 設計概要

2-1 概要

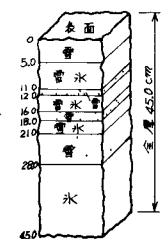
設計にあたっての機能条件として、上屋面積は、有効スペースとして約50m²を確保、軒各水平変位として床版部において $L/250$ (L:突出長)とした。地質条件は、地質調査資料をもとに設定した。荷重条件として与えた死荷重、活荷重、風、波浪、積雪、震度等については一般的な考えに基づき設定したのでここでは省略し、氷についての考え方のみ記すものとする。

2-2 氷の条件設定

一般に構造物に作用する氷の力としては、氷圧力、衝撃力、付着力、熱応力がある。これらの力のうち本構造物において考慮すべき氷力は氷圧力と衝撃力が考えられるが、本設計においては、氷の破壊強度を上回る強度を構造物にもたせればよいわけで、氷の強度が同じであれば氷圧力と衝撃力の最大値は同じとなるので、氷圧力により設計したものである。氷圧力を求める氷の性状としては、氷厚、強度(圧縮、曲げ)、ヤング率、氷と構造物の摩擦係数等があげられ、これらを、湖の氷の調査、試験及び文献等を参考にし条件として設定した。

氷厚: 調査結果によれば最大で60cm程度となるが、雪、雪氷等の互層(図-2)となっており

図-2 小川原湖水構造



又、氷厚と積算寒度の平方根が比例するというステファンの法則よりの推定においては約50cm程度となる。これより氷厚 $H=50$ cmと設定した。

圧縮強度: 氷の圧縮強度に影響する要素としては、氷温、塩分量(ブライン体積)、強度試験方法、空気含有量がある。しかし、湖の淡水化及び気象条件によりブライン体積、空気含有量は変化するのでこれらをそのまま考慮することはできない。従って強度に関するパラメーターとして最も重要なのは氷温であろう。(図-3)氷盤の温度は、小川原湖の場合

-3℃を下る確率は非常に少ないので、0℃の強度 20 kg/cm^2 に-3℃あたりの強度増加を 4 kg/cm^2 とすれば氷温-3℃で 32 kg/cm^2 となる。

よって、試験結果も踏まえ氷の圧縮強度 $\sigma_c = 40 \text{ kg/cm}^2$ と設定した。

曲げ強度：氷の曲げ強度に与える要素は、圧縮強度と同じであるが、温度の効果は小さいので、試験結果、文献等によった。文献によるとDyk-
insの大規模な試験からの式において 10 kg/cm^2 の値、又、図-4からの
6~7.5 kg/cm^2 （淡水氷）の値もあり、小川原湖における試験結果も踏ま
えて氷の曲げ強度 $\sigma_b = 10 \text{ kg/cm}^2$ と設定した。

2-3 設計

設計にあたっては、各種構造型式について比較検討を行った。比
較検討においては、特に支配荷重となる氷圧力について考慮した。

構造物に氷圧力が生じる場合の荷重は、 $F = 5\sqrt{D} \times H \times \sigma_c$ （北大
尾崎・佐伯の式適用）で求められ、これに先に設定した値を入れ、
杭径 $D = 140 \text{ cm}$ として計算すると杭1本あたり118.3tとなり圧縮破壊
モードでの氷圧力は大きく構造的にも不利となるので、氷圧力の受
ける面を傾斜させ円錐型（コン状）にし、破壊モードを強度的に弱
い曲げ破壊モードで受けることとした脚柱杭式を選定した。（図-5）

コンに対する曲げ破壊モードでの氷圧力は、Nevelの曲げ破壊モデル（図
-6）により求めた。これによると氷盤の破壊過程は始めに半径方向のクラ
ックが走り続いて円周方向のクラックが発生する。氷圧力は円周方向のクラック
が発生する時に最大となる。氷圧力の計算は、次式で求められる。

$$P_w = \frac{b_0 \sigma_b H^2}{6} \left\{ 1.1 + 2.4 \left(\frac{a}{r} \right) - 0.1 \left(\frac{a}{r} \right)^3 \right\}, \quad (1 \text{ つの Wedge の氷圧力})$$

$$\begin{cases} \sigma_b: \text{氷の曲げ強度} (10 \text{ kg/cm}^2) & E: \text{氷のヤング率} (5000 \text{ kg/cm}^2) \\ b_0: 2 \cdot \tan \frac{\phi}{2} & H: \text{氷盤厚} (50 \text{ cm}) \\ \phi: \text{Wedge の角度} (45 \text{ 度}) & R: \text{氷の密度} \\ l: \text{氷盤の特性長} (\text{cm}) \quad l = \sqrt{\frac{E H^3}{12 R}} & a: \text{氷の当る部分の構造物の半径} \end{cases}$$

構造物に作用する全氷圧力は、次式で求められる。

$$F_v = n \cdot P_w \quad F_H = \xi \cdot F_v$$

$$\begin{cases} F_v: \text{氷圧力の垂直成分, } n: \text{Wedge の数} (4 \text{ 枚}), \xi: \frac{1 + f \tan \alpha}{\tan \alpha - f} \\ F_H: \text{氷圧力の水平成分, } \alpha: \text{コンの傾斜角, } f: \text{摩擦係数} (0.13) \end{cases}$$

コンの傾斜角は、25度~45度程度が有利であり構造物寸法も考慮しこの中
間的な値の30度を採用した。Wedge の数は、実験的によく合うと言われている
4枚とした。以上により氷圧力を計算すると $F_v = 26.1 \text{ t}$ 、 $F_H = 62.9 \text{ t}$ となり圧
縮破壊モードに比して非常に小さな値となっている。本構造物は、全体を鋼構
造として設計したもので、その全体図は、図-7のとおりである。

3 あとがき

以上、設計についての概要を述べてきたが、本観測所は、氷圧力を曲げ破壊
で受けることとした脚柱杭式構造の非常に特異な設計であり、今後、氷圧力を
考慮する構造物の設計の一途になれば幸いである。

参考文献：小川原湖氷状試験調査報告書（岩手大：平山），海洋物理Ⅳ（東海大学出版会 田畑ほか），他

図-3 圧縮強度と氷温

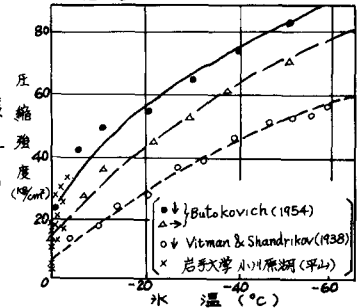


図-4 曲げ強度と塩分量

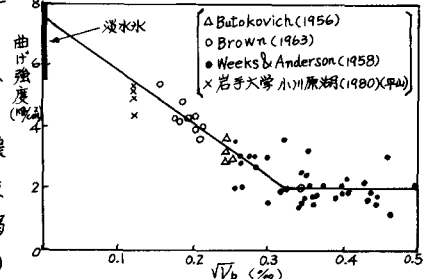


図-5 破壊モード



図-6 Nevelの曲げ破壊モデル

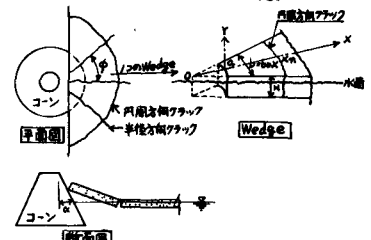


図-7 小川原湖観測所全体図 (単位: 7m)

